



Є.О. КОНОТОП¹, І. МАТУШИКОВА²,
Л.М. БАЦМАНОВА¹, Н.Ю. ТАРАН¹

¹ ННЦ «Інститут біології» Київського національного
університету імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64, м. Київ, 01601, Україна
golovatyuk.yevgeniya@gmail.com

² Інститут генетики та біотехнології рослин Словацької Академії наук
вул. Академічка, 2, м. Нітра, 95007, Словацька Республіка

**ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ВІДПОВІДІ
GLYCINE MAX (L.) MERR. НА ВПЛИВ
ІОНІВ КАДМІЮ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ
АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ**

*Ключові слова: Glycine max, азотне живлення, кадмій,
захисні реакції рослин*

Кадмій, один із небезпечних забрудників довкілля, високотоксичний для рослин і тварин. Причиною появи цього важкого металу (ВМ) у навколишньому середовищі в надмірних концентраціях є діяльність металургійних підприємств, видобувної промисловості, транспорт. Крім того, він з'являється як побічний продукт при використанні мінеральних добрив, а також із інших джерел [22]. Гранично допустимою концентрацією кадмію на сільськогосподарських угіддях вважається 3 мг/кг ґрунту, однак реальний вміст токсиканта в них переважає [27]. Негативний вплив кадмію на рослини візуально виявляється у пригніченні їхнього росту, хлорозі листків, почорнінні апексів коренів, що є наслідками порушення фізіологічних процесів [30]. Відомо, що однією з основних причин фітотоксичності кадмію є зміни поглинання та розподілу макро- та мікроелементів [15]. З'ясовано, що він впливає і на азотний метаболізм рослин. У дослідженнях М.І. Нассан [16] показано, що

токсичний вплив кадмію варіює залежно від форми азоту, яка застосовувалася для підживлення рослин. Автори вважають, що внесення $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ у визначених концентраціях на забруднені кадмієм ґрунти пом'якшить шкідливий вплив ВМ і зменшить поглинання його рослинами. Відомо, що азот відіграє важливу роль під час розвитку стрес-реакції рослин у відповідь на дію абіотичних факторів довкілля. Це змусило нас з'ясувати його можливий регуляторний вплив при формуванні адаптивних реакцій рослин за дії ВМ, накопичення яких у ґрунтах України останнім часом набуває загрозового характеру [1, 7, 25].

Об'єкти та методи досліджень

У лабораторних умовах ми вивчали вплив різної забезпеченості азотом під час формування захисних реакцій рослин *Glycine max* (L.) Merr. (сої сорту Устя) за дії іонів ВМ на початкових стадіях проростання. Для цього стерилізоване насіння сої пророщували в чашках Петрі на зволоженому фільтрувальному папері в темряві при 25 °С. Через 3—4 доби після початку наклёвування насіння з корінцями приблизно однакової довжини переносили на поживне середовище Гельрігеля, що слугувало контролем. Додатково вносили азот у концентраціях 1,2 та 24 мМ і кадмій — 50 мг/л. Для приготування дослідних розчинів використовували сполуки NH_4NO_3 та $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$.

Після 48-годинної інкубації аналізували залежність їхньої ростової реакції від умов вирощування [35]. Ріст коренів оцінювали ваговим методом. Накопичення кадмію у коренях визначали за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра (Perkin-Elmer 1100В Spectrophotometer) [24]. Показники стрес-реакції рослин виявляли за деякими біохімічними параметрами: процес пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) — за накопиченням ТБК-активних продуктів у коренях [17], активність каталази (ЕС 1.11.1.6.) — за зменшенням оптичної густини при 290 нм внаслідок розкладання H_2O_2 ($E = 39,4 \text{ мМ}^{-1} \text{ см}^{-1}$) [19].

Повторність досліду 3—4-кратна: отримані дані проаналізували методом варіаційної статистики за допомогою стандартного пакета програм MS Excel для Windows XP, вони вважалися достовірними (за *t*-критерієм Стьюдента) за рівня значущості $p \leq 0,001$ — $p \leq 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення

Індивідуальні особливості росту та розвитку рослин визначаються за генетичною програмою, ступінь реалізації якої значною мірою залежить від умов середовища. Різноманітність реакцій рослини на вплив середовища лежить в основі її пристосування до умов існування і виявляється не лише в структурних (анатомо-морфологічних), а й функціональних (фізіолого-біохімічних) адаптаційних перебудовах. Цим обумовлені зміни інтенсивності та спрямування усіх процесів життєдіяльності, серед яких ріст рослин є інтегральним показником [4].

Пригнічення росту коренів — перший симптом негативного впливу на них чинників довкілля, тому цей показник широко використовується для експрес-аналізу гострої токсичності ВМ, зокрема й кадмію [10, 35]. Адже клітини коре-

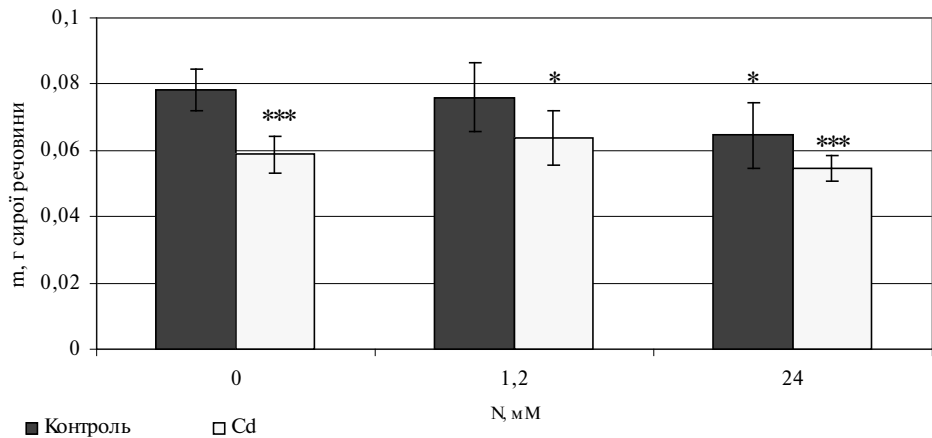


Рис. 1. Ростава реакція коренів проростків *Glycine max* (L.) Merr., спричинена додатковим внесенням азоту та наявністю кадмію (тут і далі: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$)

Fig. 1. Growth reaction of soybean roots in response on additional supply with nitrogen in presence of Cd (here and below: * — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$)

нів першими зазнають згубної дії його іонів; накопичується кадмій теж переважно в коренях [30]. Згідно з даними літератури, за несприятливих умов у зонах росту коренів спостерігається зниження показника поздовжнього розтягнення: це супроводжується збільшенням внутрішньокореневого осмотичного тиску і надалі призводить до збільшення діаметра кореня, а не його росту в довжину [2]. Пригнічення приросту коренів під впливом кадмію та інших ВМ є типовим і пояснюється зменшенням швидкості як поділу клітин, так і їхнього росту розтягненням, що відбувається за рахунок дії різних механізмів [8].

Ростава реакція коренів *G. max* сорту Устя в умовах додаткового надходження азоту за наявності іонів кадмію варіювала (рис. 1).

Візуально згубна дія кадмію виявилася у пригніченні росту коренів сої і почорнінні їхніх апексів, що може свідчити про метал-індуковане окиснення різноманітних фенолів у коренях (а вони, як відомо, є ендogenousними інгібіторами росту) або ж бути наслідком оксидного стресу [12, 13]. Порівняння маси коренів дослідних рослин із контрольними показало, що висока концентрація азоту (24 мМ) пригнічувала ріст коренів на 20 % ($p \leq 0,05$), а за нижчої концентрації азоту такий ефект не був статистично достовірним (рис. 1). Дослідну концентрацію 24 мМ азоту можна вважати надмірною, а отже, стресорною для росту й розвитку рослин, що підтверджують і дані літератури, оскільки концентрація азоту 10 мМ вважається пороговою за фітотоксичністю для деяких видів рослин [9, 28]. Наші спостереження підтверджують негативний вплив надлишку азоту на рослини, зокрема на ріст коренів, що *G. Мі* [21] пояснює зміною гормонального статусу рослини в бік зменшення в ній вмісту ауксинів — це, своєю чергою, пригнічує апікальне домінування кореня.

За наявності кадмію в середовищі спостерігалосся достовірно пригнічення росту коренів, що вважається загальною реакцією на вплив ВМ [20]. Комбіно-

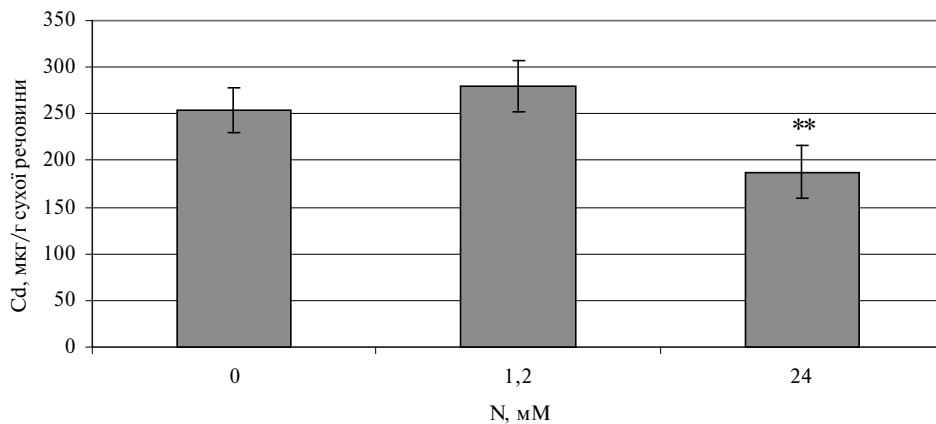


Рис. 2. Накопичення кадмію у тканинах коренів *G. max* залежно від постачання азоту

Fig. 2. Cd-accumulation in soybean root tissues related to nitrogen supply *G. max*

вана дія іонів кадмію та високої концентрації азоту виявилася ще шкідливішою для росту коренів рослин *G. max*, оскільки їхній ріст гальмувався на 31 % ($p \leq 0,001$) порівняно з контрольними рослинами, які вирощували лише на збалансованому поживному середовищі. Однак за наявності додаткового азоту в концентрації 1,2 мМ пригнічувальний вплив кадмію послаблювався, що свідчить про сприятливу дію даної дослідної концентрації для зменшення негативного впливу кадмію на ріст коренів на 12 % ($p \leq 0,05$).

Високий вміст ВМ у ґрунті зазвичай спричиняє підвищене накопичення їх у тканинах рослин, причому величина та характер поглинання в різних видів мають свою специфіку [23]. Надходження молекул ВМ із ґрунту в рослини розпочинається зі зв'язування їх із клітинною стінкою епідерми кореня, потім іони ВМ через мембранні транспортні системи переносяться всередину клітини. Узагальнення існуючих даних літератури свідчить, що поглинання іонів металів відбувається через білкові канали і/або H^+ -помпи. Надходженню катіонів через такі вторинні переносники сприяє негативний потенціал із внутрішнього боку мембрани [18]. Методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії визначили рівень накопичення кадмію у тканинах коренів проростків сої на 48-му год експозиції залежно від умов постачання азоту (рис. 2).

Додаткове внесення азоту в поживне середовище в концентрації 1,2 мМ достовірно не впливало на накопичення кадмію в тканинах коренів сої. Однак порівняно з контролем інтенсивність акумуляції іонів ВМ у варіанті зі внесенням азоту в концентрації 24 мМ, за дії якої ріст коренів пригнічувався найбільше, була на 26 % ($p \leq 0,01$) нижчою. Подібний вплив високого рівня азоту в поживному середовищі на поглинання кадмію спостерігали в рослин *Lactuca sativa* (L.) [32]. Крім того, повідомлялося, що при підвищенні азотного живлення озимої пшениці кадмій у зерні накопичується менш інтенсивно (автори називають це явище «ефектом розведення»), оскільки за азотного постачання загальний приріст біомаси посіву суттєво збільшується [34], однак у дослідних

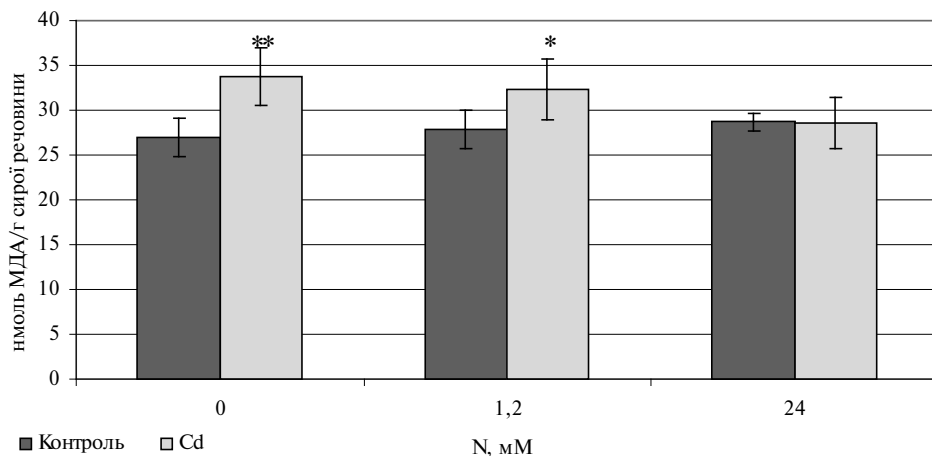


Рис. 3. Вплив додатково внесеного азоту на накопичення ТБК-активних продуктів у коренях проростків *G. max* за наявності кадмію

Fig. 3. Influence of additional nitrogen supply on accumulation of TBA-active products in soybean roots in presence of Cd

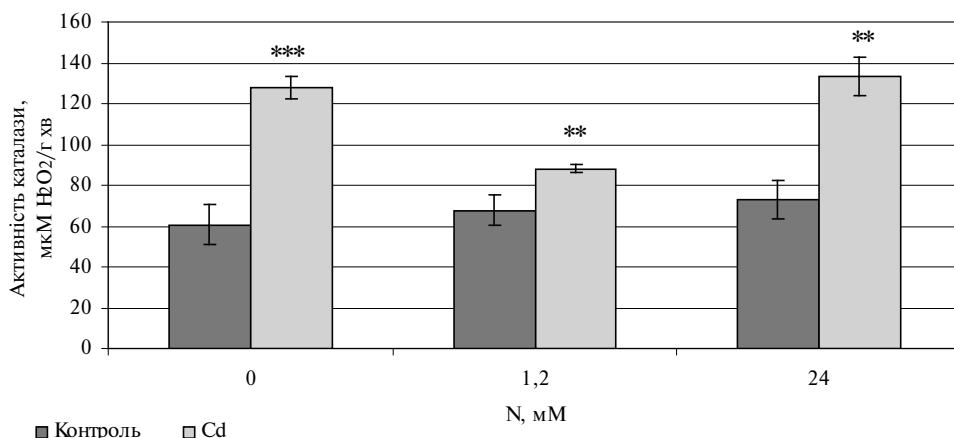


Рис. 4. Вплив додатково внесеного азоту на активність каталази в коренях проростків *G. max* за наявності кадмію

Fig. 4. Influence of additional nitrogen supply on catalase activity in soybean *G. max* roots in presence of Cd

умовах такий взаємозв'язок не справився, тому що високий вміст азоту в середовищі пригнічував приріст коренів. Нещодавно були з'ясовані деякі азот-обумовлені молекулярні механізми стійкості вищих рослин до токсичної дії кадмію. В арабідопсису ідентифікували гени, що відповідають за експресію трансмембранних переносників нітратів. За наявності кадмію стимулюється експресія білків, які транспортують іони NO_3^- назад із ксилеми до паренхімних клітин кореня, а синтез білків, залучених до перенесення нітратів у ксилему й далі в пагони, навпаки, пригнічувався. Автори вважають, що в такий спосіб накопичені в коренях нітрати слугують сигналом для посилення їх асиміляції в

цих органах. Далі інтенсифікується синтез азотвмісних хелаторів ВМ. Крім того, виявлено, що даний механізм стійкості є неспецифічним і функціонує у відповідь як на абіотичні, так і біотичні стресори [14].

Здатність кадмію сприяти утворенню активних форм кисню (АФК) у клітинах рослин підтверджена багатьма дослідженнями [11, 26, 29]. Пероксидне окиснення біомембран пошкоджує їхню цілісність і може призвести до незворотних змін при нормальному функціонуванні клітини. Кадмій не належить до металів зі змінною валентністю і тому не спричиняє утворення АФК. Однак цей елемент стимулює процеси ПОЛ у рослин опосередковано: в клітинах коренів він змінює рівновагу про-/антиоксидантів, зокрема активність ферментів глутатіонредуктази, аскорбат пероксидази, каталази, сприяє накопиченню H_2O_2 [33].

Молекули ліпідів загалом і ненасичені ліпіди зокрема чутливі до окиснення під дією АФК, що утворюються у стресорних умовах. Накопичення ТБК-активних продуктів вважається загальною неспецифічною реакцією рослин в умовах оксидного стресу [3]. Вивчаючи, як впливає постачання різної кількості азоту на розвиток проростків сої за дії ВМ у наших дослідах, ми виявили деяку інтенсифікацію процесів ПОЛ у клітинах коренів (за накопиченням ТБК-активних продуктів) (рис. 3).

Найбільше накопичення ТБК-активних продуктів (25 %; $p \leq 0,01$) спостерігалось у варіанті, де соя оброблялася кадмієм без додаткового внесення азоту в середовище. При додаванні 1,2 мМ азоту в проростки за наявності іонів кадмію інтенсивність процесів ПОЛ зростала на 15 % ($p \leq 0,05$) порівняно з тими, що культивувалися без кадмію, тоді як у варіанті з 24 мМ азоту цей показник достовірно не відрізнявся від показника контролю. Водночас за умов досліду, коли азот становив 1,2 мМ, поряд із накопиченням ТБК-активних продуктів спостерігався найвищий приріст біомаси коренів серед тих варіантів, що зазнавали дії кадмію. Подібні результати впливу додатково внесеного азоту на зниження рівня накопичення ТБК-активних продуктів у стресорних умовах (за водного дефіциту) були отримані на рослинах *Agrostis palustris* (Huds.) [31]. Це може бути свідченням еустресорної дії низьких концентрацій азоту на рослинний організм в умовах оксидного стресу.

Раніше було доведено, що активність антиоксидантних ферментів, зокрема й каталази, за несприятливої дії абіотичних факторів докільля суттєво залежить від умов азотного живлення рослин, у тому числі й від форми азоту — амонійної чи нітратної [6]. Під час наших досліджень ми не виявили достовірних відмінностей у активності каталази в разі впливу зростаючих концентрацій азоту в поживному середовищі, хоча й спостерігали деяку тенденцію до її залежності від збільшення дози (рис. 4).

Однак за наявності кадмію спостерігалися суттєві зміни активності ферменту. Так, на 48-му год експозиції достовірно зростала активність каталази, що корелює з даними літератури [5]. Суттєвий вплив на активність ферменту виявлений за впливу різних концентрацій азоту. Згідно з результатами наших досліджень, активність каталази достовірно зростала вдвічі у відповідь на дію

кадмію як за відсутності додаткового азотного постачання ($p \leq 0,001$), так і в умовах найвищої концентрації азоту 24 мМ в досліді ($p \leq 0,01$). Проте в разі додавання в поживне середовище 1,2 мМ азоту спостерігалось менш інтенсивне зростання активності ферменту на 45 % ($p \leq 0,01$), що супроводжувалося й меншим, порівняно з іншими варіантами, накопиченням ТБК-активних продуктів. Імовірно, за даних дослідних умов не було сплеску утворення АФК, що, у свою чергу, не посилювало активності каталази, на відміну від контрольного варіанта та варіанта з високим вмістом азоту в живильному середовищі. Отримані результати розвитку ПОЛ за дослідних умов дозволяють розглядати концентрацію азоту 1,2 мМ як еустресорний фактор при адаптації проростків *G. max* до токсичної дії іонів кадмію.

Висновки

1. За результатами здійсненого лабораторного дослідження по вивченню впливу різних концентрацій азоту на рослини *G. max* під час її проростання ми виявили залежність росту коренів сої від дози внесеного азоту. Так, його низькі концентрації давали позитивний ефект, тимчасом як надлишок азоту не сприяв приросту біомаси, що підтверджують також дані й інших дослідників [21].

2. Наявність кадмію пригнічувала ріст коренів і активізувала процеси ПОЛ у всіх рослин, що піддавалися дії металу, порівняно з контрольними, які вирощували на збалансованому поживному середовищі.

3. Зважаючи на отримані результати, можна зробити висновок, що є певна залежність між впливом кадмію та умовами азотного живлення під час формування адаптивної відповіді сої. Встановлено, що підживлення азотом у низьких концентраціях (1,2 мМ) знижує генерацію АФК у тканинах рослин, які зазнали впливу іонів кадмію, що проявилось в меншому накопиченні ТБК-активних продуктів і активності каталази порівняно з іншими варіантами дослідження. Водночас висока доза азоту в комбінації з кадмієм виявляла адитивний ефект, що полягав у підсиленому пригніченні росту коренів та інтенсифікації ПОЛ. Однак ці процеси, вірогідно, є наслідком шкідливої дії надлишку азоту, оскільки за таких умов накопичення кадмію у тканинах коренів достовірно зменшувалося.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Засць І.Є., Вознюк Т.М., Ковальчук М.В., Крамарьов С. М., Козирівська Н. О. Активність консорціуму бактерій в агроценозах сої на забруднених важкими металами чорноземних територіях Придніпров'я // Наука та інновації. — 2007. — 3, № 6. — С. 26—37.
2. Ктиторова І.Н., Скобелева О.В., Агальцов К.Г. Информативність биофизических параметров корня при выяснении причин торможения роста в условиях стресса // Тез. докл. Всерос. симпоз. «Растение и стресс»: ИФР им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, 9—12 ноября, 2010. — С. 199—200.
3. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений // Сорос. образоват. журн. — 1999. — №9. — С. 20—26.
4. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин. — К.: Либідь, 2005. — 808с.
5. Пацула О.І., Демків О.Т. Каталаза та адаптація рослин соняшника до дії кадмію та свинцю // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Біол. — 2003. — 34. — С. 225—230.

6. Полесская О.Г., Каширина Е.И., Алехина Н.Д. Изменение активности антиоксидантных ферментов в листьях и корнях пшеницы в зависимости от формы и дозы азота в среде // Физиол. раст. — 2004. — **51**, №5. — С. 686—691.
7. Полесская О.Г., Каширина Е.И., Алехина Н.Д. Влияние солевого стресса на антиоксидантную систему растений в зависимости от условий азотного питания // Физиол. раст. — 2006. — **53**, № 2. — С. 207—214.
8. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиол. раст. — 2001. — **48**, №4. — С. 606—630.
9. Benton Jones J.Jr. The essential elements // Hydroponics: A practical guide for the soilless grower / Ed. by J. Benton Jones Jr. — Florida: St Lucie Press, Boca Raton, 1997. — P. 30—32.
10. Cao H., Wang J., Zhang X. Ecotoxicity of cadmium to maize and soybean seedling in black soil // Chinese Geographical Science. — 2007. — **17** (3). — P. 270—274.
11. Dietz K.-J., Baier M., Krämer U. Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants // Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems / Ed. by M.N.V. Prasad, J. Hagemeyer. — Berlin: Springer-Verlag, 1999. — P. 73—97.
12. Fecht-Christoffers M.M., Braun H.-P., Lemaitre-Guillier C., Van Dorsselaer A., Horst W.J. Effect of manganese toxicity on the proteome of the leaf apoplast in cowpea // Plant Physiol. — 2003. — **133**. — P. 1935—1946.
13. Fojtova M., Kovařík A. Genotoxic effect of cadmium is associated with apoptotic changes in tobacco cells // Plant Cell Environ. — 2000. — **23**. — P. 531—537.
14. Gojon A., Gaynard F. Keeping nitrate in the roots: an unexpected requirement for cadmium tolerance in plants // J. Mol. Cell Biol. — 2010. — **2** (6). — P. 299—301.
15. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance // J. Exp. Bot. — 2002. — **53** (366). — P. 1—11.
16. Hassan M.J., Wang F., Ali S., Zhang G.P. Toxic effect of cadmium on rice as affected by nitrogen fertilizer form // Plant Soil. — 2005. — **277**. — P. 359—365.
17. Heath R.L., Packer L. Photooxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // Arch. Biochem. Biophys. — 1968. — **125**. — P. 189—198.
18. Hirsch R.E., Lewis B.D., Spalding E.P., Sussman M.R. Role for the AKT1 potassium channel in plant nutrition // Science. — 1998. — **280**. — P. 918—921.
19. Kumar G.N., Knowles N.R. Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free-radical scavenging enzyme during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum* L.) seed-tubers // Plant Physiol. — 1993. — **102**. — P. 115—124.
20. Metwally A., Safronova V.I., Belimov A.A., Dietz K.J. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L. // J. Exp. Bot. — 2005. — **56**. — P. 167—178.
21. Mi G., Chen F., Zhang F. Multiple signaling pathways control nitrogen-mediated root elongation in maize // Plant Signal. Behav. — 2008. — **3** (11). — P. 1030 — 1032.
22. Nriagu J.O., Pacyna J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals // Nature. — 1988. — **333**. — P. 134—139.
23. Prasad M.N.V., Strzalka K. Impact of heavy metals on photosynthesis // Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems / Eds M.N.V. Prasad, J. Hagemeyer. — Berlin: Springer-Verlag, 1999. — P. 117—138.
24. Pulido P., Fuwa K., Vallee B. Determination of cadmium in biological materials by atomic absorption spectrometry // Analytical Biochem. — 1966. — **14**. — P. 303—304.
25. Ramalho J.C., Campos P.S., Teixeira M., Nunes M.A. Nitrogen dependent changes in antioxidant system and in fatty acid composition of chloroplast membranes from *Coffea arabica* L. plants submitted to high irradiance // Plant Sci. — 1998. — **135** (2). — P. 115—124.
26. Romero-Puertas M.C., McCarthy I., Sandalio L.M., Palma J.M., Corpas F.J., Gomez M., del Rio L.A. Cadmium toxicity and oxidative metabolism of pea leaf peroxisomes // Free Rad. Res. — 1999. — **31**. — P. 25—31.
27. Salt D.E., Smith R.D., Raskin I. Phytoremediation // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. — 1998. — **49**. — P. 643—668.

28. Sanchez E., Lopez-Lefebvre L.R., Garcia P.C., Rivero R.M., Ruiz J.M., Romero L. Proline metabolism in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) // J. Plant Physiol. — 2001. — **158**. — P. 593—598.
29. Sandalio L.M., Dalurzo H.C., Gomez M., Romero-Puertas M.C., del Río L.A. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants // J. Exp. Bot. — 2001. — **52**. — P. 2115—2126.
30. Sanità di Toppi L., Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants // Environ. Exp. Bot. — 1999. — **41**. — P. 105—130.
31. Saneoka H., Moghaieb R.E.A., Premachandra G.S., Fujita K. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. // Environ. Exp. Bot. — 2004. — **52**. — P. 131—138.
32. Singh J.P., Bharat Singh, Karwasra S.P.S. Yield and uptake response of lettuce to cadmium as influenced by nitrogen application // Fertilizer Research. — 1988. — **18** (1). — P. 49—56.
33. Schützendübel A., Schwanz P., Teichmann T., Gross K., Langenfeld-Heyser R., Godbold D.L., Polle A. Cadmium-induced changes in antioxidative systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in scots pine roots // Plant Physiol. — 2001. — **127**. — P. 887—898.
34. Wångstrada H., Eriksson J., Öborna I. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization // Eur. J. Agron. — 2007. — **26** (3). — P. 209—214.
35. Wilkins D.A. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root length // New Phytol. — 1978. — **80**. — P. 623—633.

Рекомендує до друку
О.К. Золотарьова

Надійшла 28.04.2011 р.

Е.А. Конотон¹, І. Матушикова², Л.М. Бацманова¹, Н.Ю. Таран¹

¹ УНЦ «Інститут біології» Київського національного університета
імені Тараса Шевченка, Україна

² Інститут генетики і біотехнології рослин Словацької Академії наук,
Нитра, Словацька Республіка

ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА *GLYCINE MAX* (L.) MERR. НА ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КАДМИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

Изучалось влияние азотного питания на формирование адаптивного ответа проростков сои в присутствии ионов кадмия. Оказалась, что внесение азота в низких концентрациях способствует уменьшению интенсивности процессов ПОЛ под влиянием кадмия. В то же время фитотоксичность высокой дозы азота в комбинации с кадмием оказалась аддитивной. Тем не менее, в исследуемых условиях причиной деструктивных процессов, вероятно, является избыток азота, поскольку накопление кадмия в тканях корней достоверно угнеталось.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Glycine max, азотное питание, кадмий, защитные реакции растений.

Ye.O. Konotop¹, I. Matushikova², L.M. Batsmanova¹, N.Yu. Taran¹

¹ ESC «Institute of Biology», Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv

² Institute of Plant Genetics and Biotechnology, Slovak Academy of Science, Nitra

INDUCTION OF ADAPTIVE RESPONSE OF *GLYCINE MAX* (L.) MERR. UNDER CADMIUM TREATMENT DEPENDING ON CONDITIONS OF NITROGEN NUTRITION

Impact of nitrogen nutrition on adaptive response of soybean seedlings under presence of cadmium ions has been studied. Nitrogen application in low concentration showed reduction of lipid peroxidation intensity under cadmium treatment. Phytotoxicity of high concentration of nitrogen combined with cadmium revealed additive effect. However, deleterious processes in root tissues under the studied conditions might be due to toxic effect of nitrogen excess since cadmium accumulation in root tissues was significantly depressed.

Key words: Glycine max, nitrogen nutrition, cadmium, plant defense reactions.